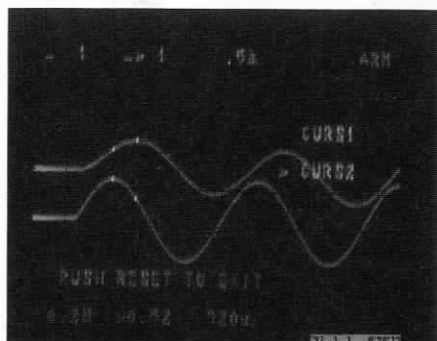
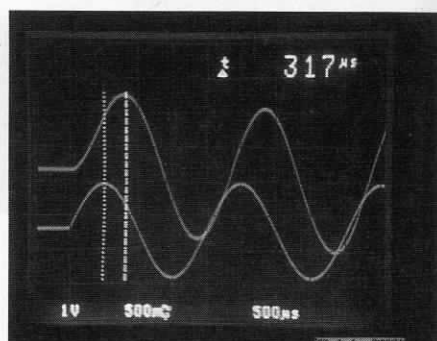
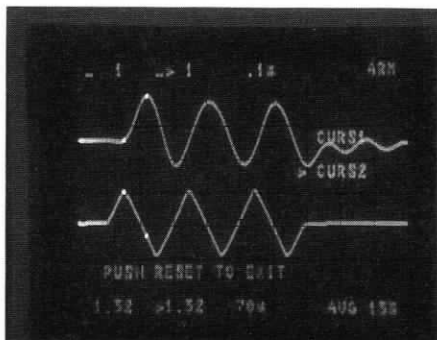
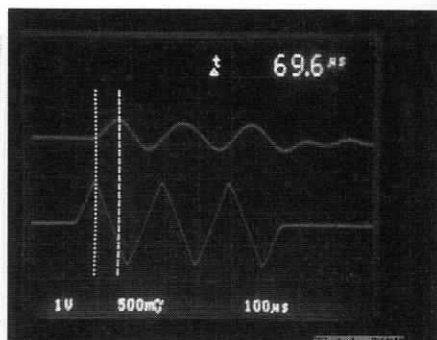
連載 オーディオ計測の散歩道

2音法を利用したオーディオ測定

(15) 検出コイル出力の位相ずれ

■小倉幸一■

《写真 A》デジタル・オシロでの読みとり

《写真 B》アナログ・オシロでの読みとり

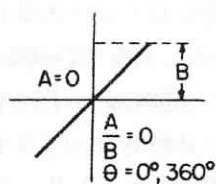
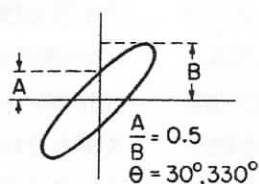
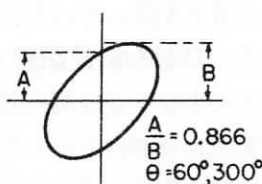
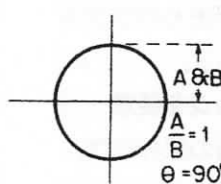
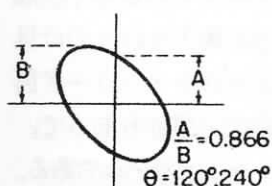
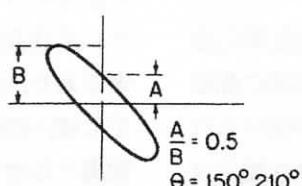
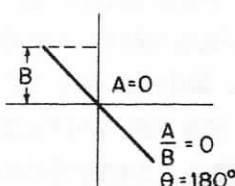
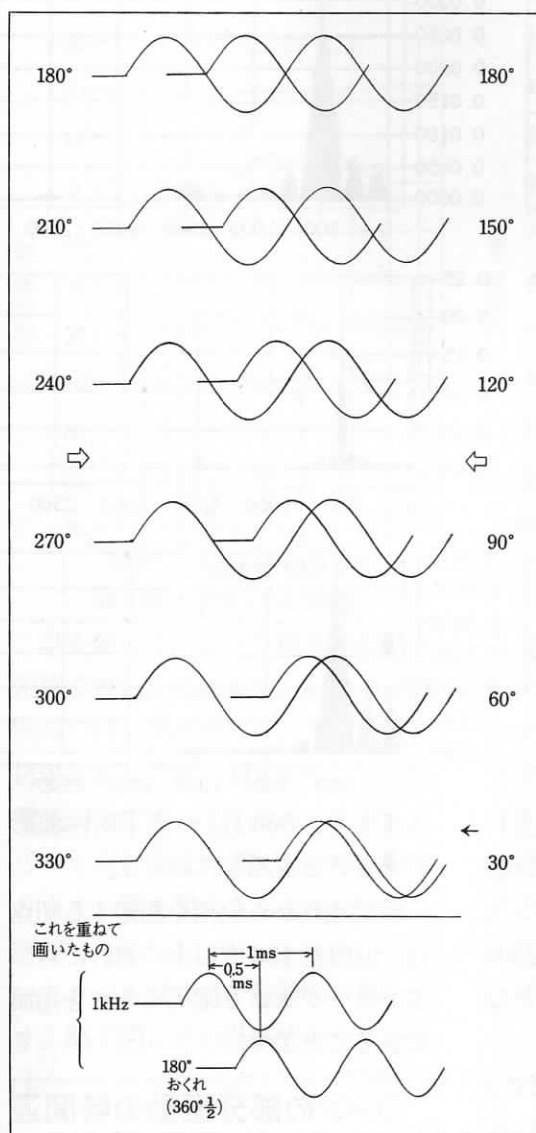
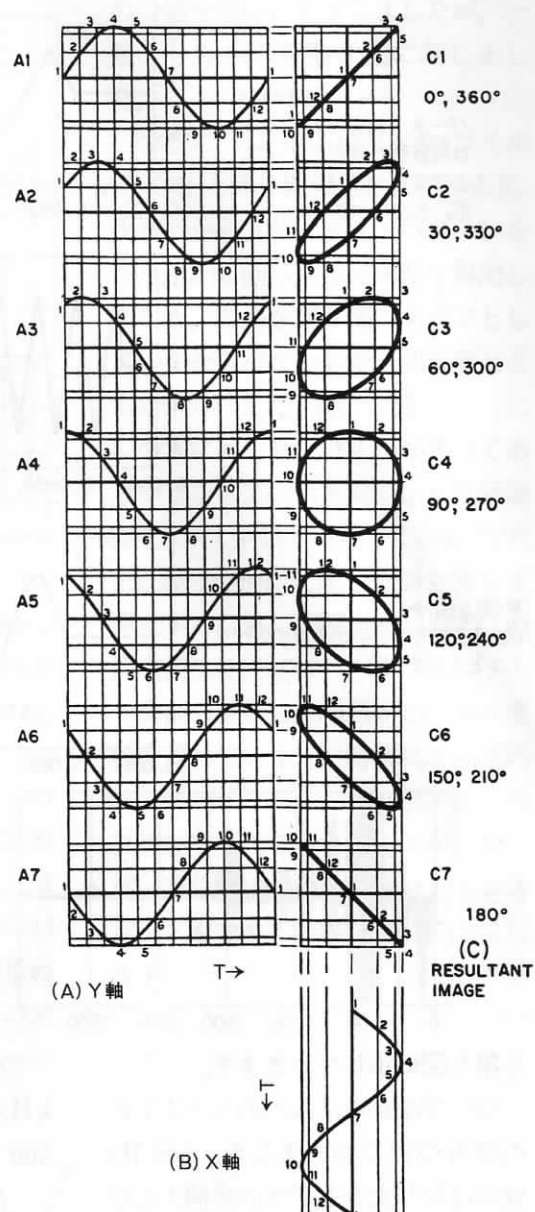
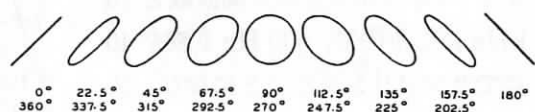
69.6μs 1V 500mV 100μs

《写真 C, D》3角波なら少し見すやすが…… (左)デジタル, (右)アナログ・オシロ

時間遅れを位相で表わす

8月号では，スピーカ入力電流 i_0 を基準としてMFBスピーカのセンサ・コイルの動き（レーザー変位計で測定）と，センサ・コイル出力電圧の時間ずれをグラフにまとめました．ただ，この振動を“音”として見る場合は，やはり“位相”表現が感覚的には適合するでしょう．時間ズレを位相になおすのは次式を使います．

$$\theta=(t/T)\times 380 \cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

1周期の時間T（波形図のmm値）と遅れの時間t（おくれ分のmm値）の比から簡単に求められます．一方，位相測定はリサージュ・パターンから読みとる法が知られています．

第1図に代表的なパターンとその値を示しておきます．各パターンについて位相値が2個づつ示されています．これは逆にいえば，各2つの位相差を示す数字は同じリサージュ・パターンとなり，両者の区別はつかないということです．

ここでは，直感的な波形図で見てみましょう．第2図がそれです．180度（逆相）までは容易に想像つきます

〈第1図〉リサージュ・パターンと位相差の計算の仕方

第1～3図はいずれも「Encyclpedia on Cathode-Ray Ossilloscopes & Their Uses」より

◀〈第2図〉180°～330°までの位相ずれの状態. 逆に見れば，30°～180°のずれとなる

〈第3図〉▶ リサージュ・パターンの作図法

から省略し，180～330度を示しました．図を逆さにして見れば両波形のズレの具合は30～180度を表わすことになります．

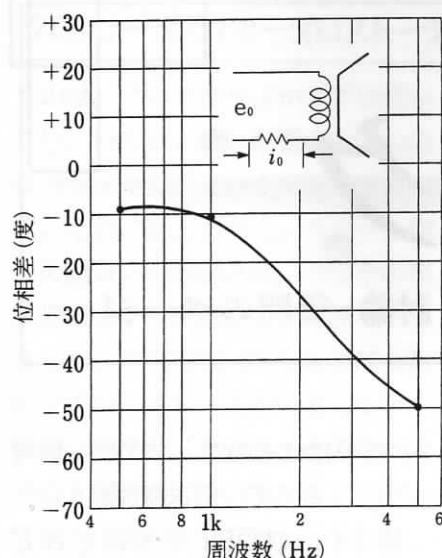
もっと基本的事項として，2つの波形からどのようにしてリサージュ・パターンが描けるのかを**第3図**に付しておきました．

時間差測定はディジタル・オシロのカーソル（点）や，アナログ・オシロのカーソル（線）で読みとりましたが，今回の測定でのいちばんの誤差は，波形のピークの読みとりにありました（**写真** A，B参照）．サイン波のピークは，ラインがなだらかに変化するのでなかなか正確には見つけにくい作業です．入力波はまだしも，出力レスポンス波はそのピーク位置決定に神経を使います．その点，三角波だとそのピーク点がサイン波よりはっきりしていますから，容易にはなります．

写真 C，D に一例を示しておきます．入力波ではすっきりとピーク点が決められますが，これでも出力（レスポンス波）の方では似たり寄ったりです．そもそも，バースト波の時間おくれの成因はスピーカのコーンの振動が単純な等価回路で表せないこと，そのうえ，バースト波のスペクトルが周波数と波数によって変わる（**第4図**参照）ことによります．

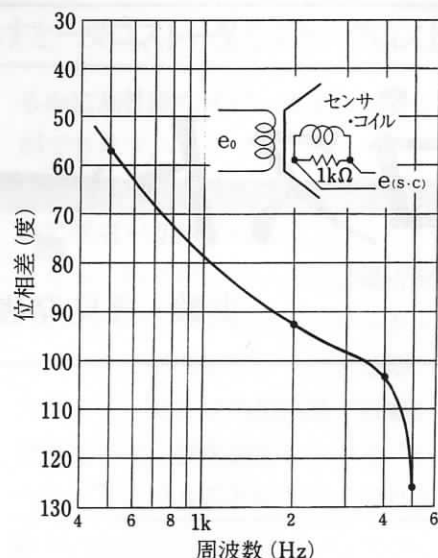
それらの高調波がコーン振動の影響を受け，逆 FFT で作られるような遅れ波形ができるのです．したがって，遅れ波形と基準波形の時間差といっても，遅れは**第2図**のような単純な平行移動ではすまされないのです．

バースト波の何波目のピークで測ったかによって，その値は変わってしまいます．その様子は**写真** B のとおりで，これがピークの時間差で位相差を測る難点となります．

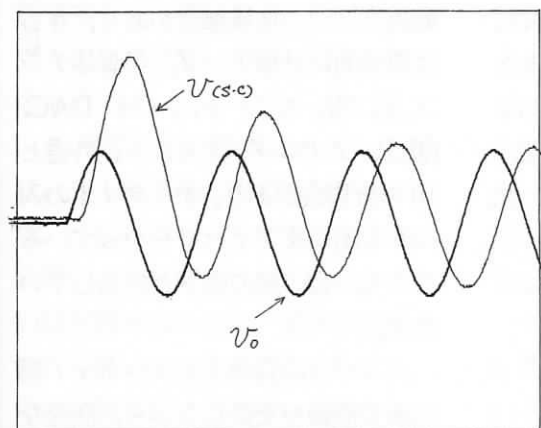
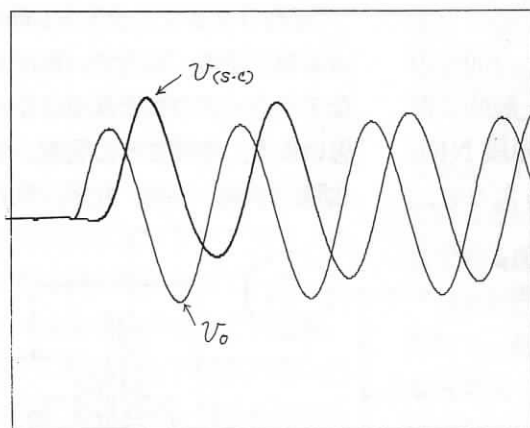
以上の理由から，オシロ上でサイン波（連続波でも）のピーク点を決めるのに，慎重さが必要になります．参考までに，入出力波のスペクトル

〈第8図〉出力電圧対入力電流

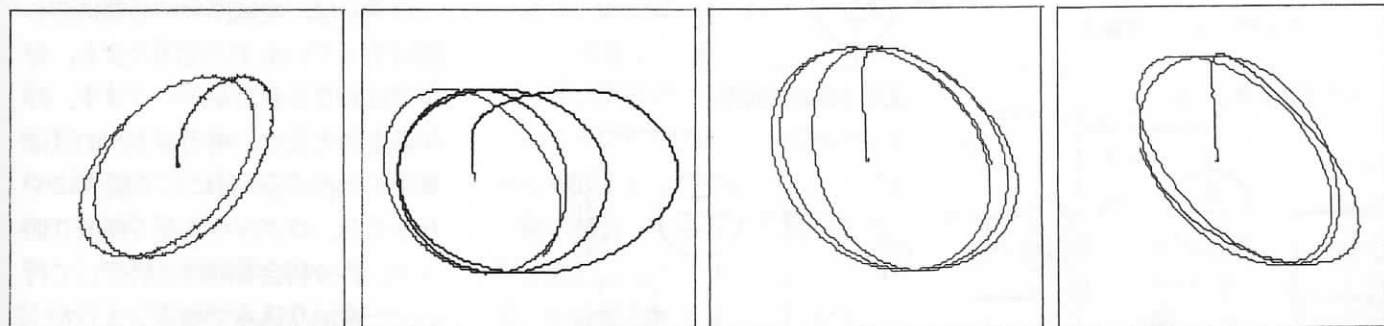
〈第9図〉出力電圧対センサ出力

話を戻して，コーン根元の振動を位相で表わして見ます．前号での時間差では，基準をスピーカ入力電流にとりましたが，MFB用としては電圧同士の扱いですから，まず，スピーカ入力電流対電圧の位相を見てみます．**第6図**のようなリサージュ群ができました．

これから図式法で数値を計算します．**第7図**にその具体的な手法を示しました．つまり，1 mm 方眼紙(トレーシングペーパー・タイプ）に十字クロス線を引いて，リサージュに重ね，十字の交点とリサージュの中心（バーストの発生前が0の点になっている）を合わせ振幅 A，B を求め，表計算で±%を含めて遅れ度数を算出しました．リサージュと十字の各ペーパーは写真用蛍光灯ボックス上で重ねると，正確に読みとれます．おのおのの値を図中にも示しましたが，一覧としたものを**第8図**に示しました．

つぎに，SP 電圧対センサ・コイル(S-C)出力間の位相差を見てみます．両波形からリサージュ・パターンを作り上記と同じ手法で角度を算出しました．結果を**第9図**にグラフとして，また各パターンを一部波形とともに示しました（**第10図**）．

つぎにセンサ・コイルが巻いてあるボビンの動き（振動）を8月号第20図(本文中21図となっているので訂正）から位相に変換して描き直して見ます．なお，同図 log 目盛(Y)の最高値は 1.0 です．

変換の結果は，5 kHz では 360 度程度遅れています．時間にすれば約 0.2 m sec です．この位相変化が何によってもたらされたものか，レーザー変位計のトランジェント・レスポンスも含めて再検証することにします．

● 2 kHz 入力波 e_0 とセンサ・コイル出力波 e_{S-C}

● 4 kHz 入力波とセンサ・コイル出力波

〈第10図〉
出力電圧対センサ・コイル出力電圧の位相ずれの様子

●入力電圧対センサ・コイル出力電圧のリサージュ．左から 500 Hz/−57.3°，2 kHz/−92.9°，4 kHz/−103°，5 kHz/−126°